

Размышления о 3D сейсморазведке

Reflections on 3D seismic

Ингебрет Гаусланд (Ingebret Gausland*)

В далеком 1970 году во время первой морской съемки 3D, параметры полевых работ и этапы проводимой обработки подбирались на основе теории сигнала и использования физических параметров. Необходимость в работе с большими объемами данных и более высокой скорости их обработки привели к новой технике проведения работ, которая не является лишь продолжением первоначальной методики. Ее внедрение позволило достичь весьма значительных результатов, причем за много меньшее время. Также с развитием технологии улучшались результаты бурения, однако не так быстро, как ожидалось. В действительности информация по ряду скважин не подтверждала геологических прогнозов. Причиной тому, помимо основной обработки данных, является множество других факторов. Вследствие этих ошибок производство никогда не возвращалось к полному обзору технологий, имевших место до современной обработки данных.

На протяжении нескольких лет обработка сейсмических данных развивалась за пределами первоначальных физических основ, и теперь это больше искусство, чем наука. В частности пример тому – некоторые типы фундаментальной обработки, использовавшиеся в 3D сейсмической съемке.

Сейсмическая съемка полностью зависит от теоремы отсчетов для данных измерений и обработки. Для каждой съемки очень важно определить шаг линии наблюдений в соответствии с необходимыми физическими законами. Но даже сейчас многие геофизики-обработчики продолжают заниматься своим делом, нарушая теорему отсчетов при процедуре бинирования.

В данной статье будет обсуждаться два из наиболее важных этапов обработки, используемый на 3D данных: суммирование и бинирование. Автор исследует технологию суммирования, детально рассматривая ее в статье, размещенной *First Break* под названием: *The stacking response: what happened to offset?* (Gausland, I., 2004). В данной статье основные выводы о 3D съемках будут повторены, но акцент теперь сместится на бинирование и влияние, которое оно оказывает на качество данных 3D сеймики.

Суммирование и отклик в суммарном разрезе

Процесс суммирования является очень сильным FK-фильтром и оказывает существенное влияние на окончательный результат обработки данных. Число факторов, которые будут влиять на результат суммирования очень велико. Часть из них была рассмотрено в моей предыдущей статье. Однако я ошибался, когда подчеркивал важность статических поправок. Это было серьезным упущением, которое я хотел бы исправить.

Точечная линия на Рисунке 1 показывает отклик в суммарном разрезе, полученный широкой расстановкой длиной в 4800м, это обсуждалось в моей предыдущей статье. Зеленая линия показывает тот же отклик, но теперь там присутствуют статические аномалии с временным сдвигом 10 мс, находящиеся на наиболее удаленных 1200м установки. Во втором случае отклик в суммарном разрезе стал более открытым, и его краевые части испытывают большие флуктуации, чем при правильном суммировании. Если аномалия поменяет свое месторасположение внутри расстановки, то вид отклика также изменится. В действительности

*E-mail: igausland@online.no

статические временные сдвиги будут результатом многих аномалий, изменяющих как свою величину, так и расположение. Влияние такой статической аномалии, будет заключаться в том, что суммирование будет менее эффективной фильтрацией по волновым числам. Кроме того, при таких условиях ухудшается подавление кратных волн.

Статические поправки стали использоваться при обработке данных не только наземной сеймики, но и данных, полученных при морской съемке на Дельте Миссисипи и западных регионов Шетланда. В вышеприведенном примере я постарался показать важность правильных статических поправок для результата суммирования всех типов сейсмических данных. Надеюсь, что это поможет геофизикам-обработчикам и интерпретаторам более внимательно относиться к такому важному аспекту обработки сейсмических данных.

Книга *Static Corrections for Seismic Reflection Surveys*, написанная Майком Коксом (Mike Cox), опубликованная SEG (Cox, M., 1999), содержит исчерпывающую информацию о всех аспектах статических поправок в отношении их воздействия на суммирование. Данная книга рекомендуется для более полного изучения этой важной темы.

Как обсуждалось в моей статье за январь 2004 года, кроме статических поправок, еще целый ряд факторов влияет на качество суммированных 3D данных. Для полноты изложения наиболее важные из них будут здесь перечислены:

○ Дисбаланс 3D сейсмических данных

Так как процесс суммирования является очень сильным FK-фильтром, то при его выполнении пространственные фильтрационные эффекты будут наблюдаться только в «направлении суммирования». Направление, обратное суммированию, не будет обладать пространственно фильтрационными эффектами, кроме того, данные по направлению кросслайна подвержены сильному аляйсингу, устранить который можно, выбрав другое направление измерения.

Такой дисбаланс пространственной фильтрации может объяснить большинство различий, наблюдаемых в направлении инлайна и кросслайна. Статья, рассматривающая эти аспекты, была представлена в 1995 году на Ежегодной конференции SEG в Хьюстоне (Arbi, N. et al., 1995). При последующих обсуждениях с Данном Эбром (Dan Ebrum), одним из авторов, он подтвердил, что

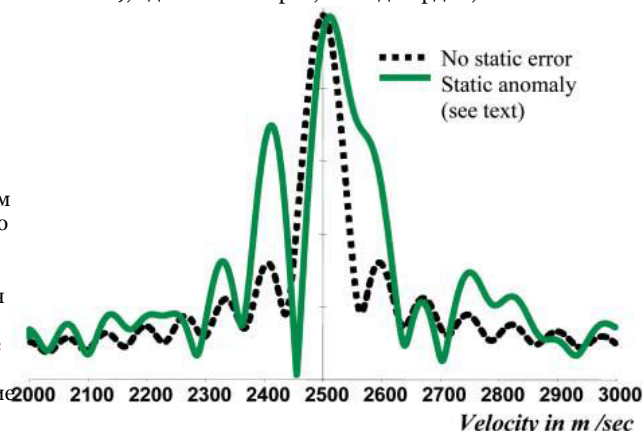


Рисунок 1 Отклик в суммарном разрезе.

низкочастотная фильтрация данных перед суммированием и миграцией позволяет уравновесить действия суммирования данных по инлайнам и кросслайнам. Причина этого может быть объяснена удалением всех компонентов сигнала, которые могут вызвать неоднозначность частотного состава колебания, восстанавливаемого по дискретным данным при суммировании в направлении кросслайна, в случае, когда запись данных велась по инлайнам. Следовательно, реальная разница между направлением по простиранию наблюдений и вкрест им исчезает.

Даже если большая часть расширенной обработки данных выполняется до суммирования, суммирование трасс на одной из стадий обработки все же будет представлять собой накопление, и поэтому необходима огромная осторожность, дабы избежать фильтрации по волновым числам в направлении кросслайна.

○ Мониторинг

Повторяющиеся 3D съемки часто используются для мониторинга резервуара и планирования разработки существующего месторождения. Анализируя небольшие изменения во времени и в амплитуде 3D наблюдений, записанные через заданный промежуток времени, можно обнаруживать изменение в составе флюида, вызванное эксплуатацией месторождения.

В том или ином виде суммирование применяется к данным перед тем, как они будут подвергнуты анализу. Из-за временного сдвига, свойственного суммированию, результат может быть более чувствителен к ошибкам в скоростях суммирования, чем к реальным изменениям в рассматриваемом резервуаре. Выбор скоростей суммирования, следовательно, является необычайно важным при обработке данных мониторинга.

Различные 3D съемки подвергаются нормализации перед анализом разностей, но эта процедура не улучшает разрешения, требуемого для правильного анализа данных мониторинга. Дальнейшее изучение этого направления необходимо производить для того, чтобы выявить весь потенциал повторяющихся съемок 3D для использования их результатов при мониторинге.

○ Азимутальные эффекты

Азимутальные эффекты появляются в результате изменения геологических условий на заданном уровне. Учет этих эффектов является важной частью обработки данных современной сейсмики. Однако, возможный эффект суммирования в большинстве случаев выпадает из обсуждения. Пространственный дисбаланс, вызванный суммированием «лишь в одном направлении», может быть причиной азимутальных различий, часто наблюдаемых в сейсмических 3D данных.

Эффект накопления и связанные с ним временные сдвиги хорошо известны многим геофизикам, но почему-то этот эффект фильтрации по волновым числам не так хорошо определяется теми, кто работает с сейсмическими данными.

Из вышесказанного должно быть понятно, что суммирование оказывает существенное влияние на качество 3D данных, поэтому я надеюсь, что геофизики приложат больше усилий для изучения влияния суммирования на конечный результат.

Бинирование

В данном разделе рассматривается процесс бинирования: технологии, получившей популярность почти сразу после проведения первых морских 3D съемок. При проведении морских работ в первые годы в порядке вещей было вести учет

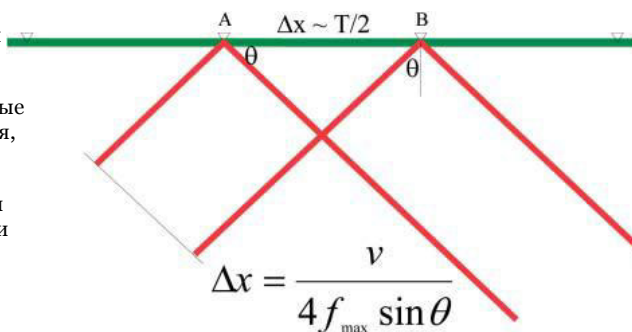


Рисунок 2 Принцип определения шага между линиями в 3D съемке.

расположение источника и приемника для дальнейшего использования этой информации в схеме миграции по Кирхгофу. Необходимость в более гибкой схеме миграции привела к использованию бинирования, как важнейшей части 3D съемок.

Большинство съемок 3D разработано в соответствии со специальной геометрией, когда расстояние между линиями рассчитывается по правилу, указанному на рисунке 2. Из сведений о месте съемки, максимальной глубине, скорости распространения и требуемой частоты по приведенной формуле определяется расстояние между линиями (размер бина). Этот факт следует из теоремы отсчетов, которая требует, чтобы дискретизация записи осуществлялась таким образом, чтобы на один период максимальной частоты попадало, по крайней мере, два отсчета.

После проведения измерения одним из первых шагов обработки является процесс бинирования. Он заключается в разбиении площади съемки на «бины» или прямоугольники, одна из сторон которых будет равна расстоянию между линиями наблюдения. Каждый пункт приема (или, в зависимости от выбранной геометрии, общая глубинная точка) приписывается к центру бина, в который она попадает независимо от своего расположения внутри самого бина.

Ошибки при неверном выборе шага дискретизации временного сигнала называются «звоном» и приносят существенный шум в запись. По некоторым причинам обработчики сейсмических данных или другие пользователи не считают звон в данных чем-то, о чем нужно беспокоиться.

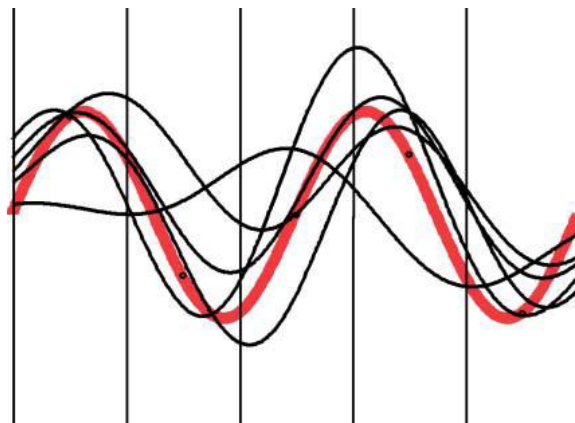


Рисунок 3 Эффект бинирования в случае, когда длина волны меньше размерности бина.

Один из примеров демонстрации шума, возникающего в результате бинирования, можно исследовать, «пробинировав» синусоидальную волну, как показано на рисунке 3. Здесь жирной красной линией показан исходный сигнал, а вертикальными линиями отображаются границы бинов. Маленькие кружки соответствуют срединным точкам бинов. Если допустить при дискретизации произвольный выбор точек вне бинов на красной линии и затем использовать эти значения как центральные значения для бинов, то число возможных восстановленных сигналов может расти. Рисунок 3 показывает, какой исход ожидает обработчика при таком методе дискретизации. Отметим очень небольшое количество кривых, которые бы были близки к исходному сигналу.

При использовании бинирования в обработке данных 3D такой тип искажения сигнала будет формировать огромное количество всевозможных шумов, что будет негативно сказываться на окончательном результате.

В действительности ситуация не так ужасна, как это показано на рисунке 3. Параметры, выбранные в соответствии с максимальной глубиной исследования и частотой записи, обычно довольно умеренные, поэтому данные после бинирования скорее имеют вид, похожий на рисунок 4. Это показывает, что если максимальная частота дискретизации много выше требуемой измерениями, то бинированные данные будут точнее, чем это могло бы ожидаться, повторяют исходные.

После обработки сейсмических данных, «шум бинирования» очень непросто обнаружить. Он может проявляться как крутопадающая когерентная волна, или как увеличивающаяся фоновая помеха, зависящая от распределения каждой трассы внутри бина и геологического строения района.

Рассуждения, приведенные выше, о шуме, генерируемом обыкновенным бинированием, еще более драматичны для так называемого пластичного бинирования. Если трасса выбрана вне бина, как в случае пластичного бинирования, необходимо осознавать, что величина генерируемого при этом шума будет еще выше. Расстояние между центром бина и реальным расположением трассы может быть малым по величине в привычных системах отсчета, однако с точки зрения теоремы отсчетов, оно обязательно должно быть больше длины волны. Таким образом, при неверном проведении бинирования качество данных может очень сильно пострадать.

Примером, описывающим проблемы шума бинирования при обработке данных 3D сеймики, могут послужить две следующие опубликованные работы.

- Хестхаммер (Hesthammer, 1999) детально описывает месторождение Галфакс (Gulfaks) и рассуждает о возможности улучшения результатов с помощью использования структурной интерпретации данных сейсморазведки.

- Работа Ван Мастригта (van Mastrigt, P. et al (2003)), в которой описывается 3D съемка на участке блока Santos. Нерегулярное расположение трасс внутри бина были причиной появления характеристики ограниченного шума. Данный факт может быть устранен при интерполяции трасс к центру бина. Я верю, что заинтересованный читатель обязательно ознакомится копиями этих статей.

В случае месторождения Галфакс, Хестхаммер описывает высокоамплитудный когерентный шум, с наклонной осью синфазности в данных и показывает, каким образом он может вызвать появление мнимого наклонного сброса. Подтвердить или опровергнуть этот факт нельзя с помощью данных инклинометрии в скважине. Однако наличие кажущегося наклонного сброса обуславливает принятие важных решений группой по разработке резервуара, такие как программа бурения, предназначенная для дренирования резервуара, который на самом деле находится не здесь. Вероятнее всего, что высокоамплитудный наклонный когерентный шум был вызван процессом бинирования данных и никаким образом не связан с данными измерений. Этот пример показывает важность правильного использования всех этапов обработки 3D сеймики,

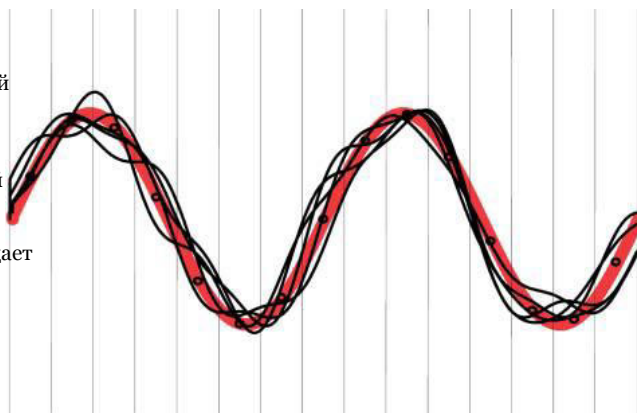


Рисунок 4 Эффект бинирования в случае, когда длина волны больше по размерности бина.

побочные эффекты которых необходимо отделить от реальной геологической информации, которую мы хотим извлечь из данных.

В 3D съемке на участке блока Santos, описанной Ван Мастригтом и др., было обнаружено, что данные после бинирования содержат большое количество когерентного шума, с наклонной осью синфазности, которого можно было бы избежать, если бы суммированные трассы были бы проинтерполированы к центру бина перед миграцией. Данные до и после интерполяции к центру довольно убедительно демонстрируют, как случайное распределение данных внутри бина ухудшает качество окончательных данных.

Эти два примера, хотя я уверен, что и многие другие, иллюстрируют тот факт, что бинирование может генерировать «звон», который проявляется в виде высокоамплитудной наклонной оси синфазности в данных. Как было выяснено Хестхаммером, он может быть причиной проблем, возникающих при описании резервуара и приводить к дорогостоящим, но бесполезным, программам бурения. Для всех типов сейсмических данных очень важно строго придерживаться теоремы отсчетов.

Это означает, что данные должны быть интерполированы обратно к центру бина, даже если они находятся где-то внутри бина без поправок. Этим должен завершаться этап до суммирования, чтобы на эту процедуру передать уже исправленные трассы.

В добавление к изученным эффектам, которые возникают при процедуре бинирования данных 3D сеймики, необходимо также рассмотреть влияние на суммирование непостоянства шага между трассами. Изменение в шаге между трассами будет создавать «звон» в суммарном разрезе и давать результаты схожие с теми, что показаны на рисунке 1. В случае морских 2D съемок это не будет являться проблемой, так как трассы (приемники) расположены с равными интервалами вдоль косы. Но в наземной 2D съемке и во всех 3D съемках, где применяется бинирование, это неравномерное распределение трасс может значительно ухудшить качество окончательных данных.

Разработка нового принципа «пилотируемой косы» позволила существенно повысить точность данных. Это достигалось тем, что теперь запись на трассах стало возможным вести в непосредственной близости от центра бина. Хотя теорема отсчетов по-прежнему остается в силе, внутри диапазона частот, заданного интервалом дискретизации, данные могут быть проинтерполированы без потерь в точности. Надлежащее обращение с данными во время стадии обработки может значительно удешевить и упростить контроль над новыми технологиями исследования месторождения.

Необходимо помнить, что интерполяция может распространяться на более широкий диапазон рабочих частот при наличии дополнительной информации. Такую информацию можно взять из анализа геометрии наблюдений или из геологического строения изучаемого района. Более тщательное изучение влияния бинирования и интерполяции на 3D данные будет просто необходимо для получения большего количества информации из сейсмических данных.

Выводы

Надеюсь, что читатель согласится с моими выводами по поводу влияния суммирования и бинирования на финальное качество сейсмических данных.

Суммирование - очень сильная фильтрация по волновым числам, которая влияет на качество данных много больше, чем сейчас это оценивается геофизиками. Следовательно, необходимо более тщательно изучить этот важнейший инструмент обработки.

Бинирование, вероятно, является наиболее мощным генератором шума в технологии 3D наблюдений. Создаваемый шум порой бывает очень сложно зафиксировать, однако именно он в значительной мере влияет на финальный результат. Если производитель выйдет на рынок с данными, представляющими только лишь такой «звон», то он очень быстро окажется без работы. Вопрос, почему же бинирование в данном виде остается используемым процессом в обработке сейсмических данных, огромная загадка для меня.

Более тщательное изучение несуммированных данных и применение интерполяции для разрешения проблем, связанных с бинированием, несомненно, должно привлечь большее внимание.

Лучшее понимание этих шагов обработки позволило бы получать более точные результаты из сейсмических данных и, следовательно, позволило бы улучшить интерпретацию глубинной геологии и значительно увеличить роль научно – исследовательских работ в принятии решения руководством по разработке коллектора.

Ссылки

- Arbi, N. et al [1995] A comparison of 3-D seismic time imaging results from physical model strike and dip acquisitions. *SEG Annual Meeting, Houston*. Paper SA1.8
- Cox, M. [1999] *Static Corrections for Seismic Reflection Surveys*. SEG Publication.
- Gausland, I. [2004] The stacking response: what happened to offset? *First Break*, **22**, 1, 43-46.
- Hesthammer, J. [1999] Improving seismic data for detailed structural interpretation. *The Leading Edge*, February 1999.
- Van Mastrigt, P. et al. [2003] The Santos cluster block 3D survey: learning's from the largest 3D survey in the world. *Eighth International Congress of The Brazilian Geophysical Society*, Rio de Janeiro, September 2003.